Deep Fields and Distant Galaxies

science and strategies

Henry Ferguson TMT Science Forum 24 June 2014

Outline

- The role of large multi-purpose surveys
 - Science motivation
 - A few recent science highlights
- Ground/space synergy past and future
- Public vs. proprietary science

Why me?

- Mark Dickinson twisted my arm
- 2. I have helped engineer many of the large HST surveys: HDF, HDF-S, GOODS, UDF, CANDELS
- 3. I am fan of archives and public data sets
- 4. I have had no involvement in TMT, GMT, EELT (blissfully unaware of whom I will offend)

Motivation

• The ΛCDM paradigm is a huge success on large scales

6000

4000

2000

0

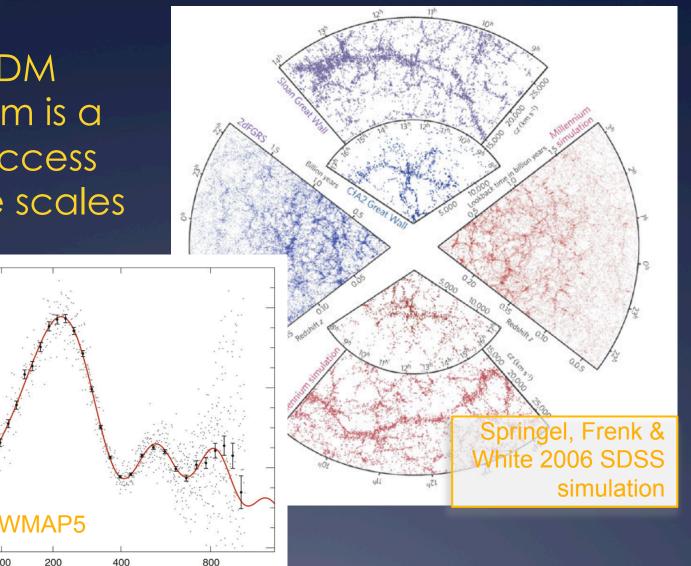
10

40

100

200 Multipole moment l

l(*l*+1)C_{*l*}/2π [μK²]



Galaxy evolution within Λ CDM is complicated!



Galaxy evolution within Λ CDM is complicated!

Dependencies

Cosmological parameters, properties of dark matter, dark energy

Chemistry, star-formation, initial-mass function

Gas instabilities, shocks, critical phenomena

Black holes, galactic winds, recycling Dust, magnetic fields



The need for large surveys

- Galaxy formation/evolution is inherently statistical
- Making the link between galaxy-scale physics and cosmology is all about measuring distributions:
 - Need to know the space density as a function of x,y,z,....
 - Not just the mean relations, but the scatter...
 - Need (cross, auto)correlations as a function of x,y,z...

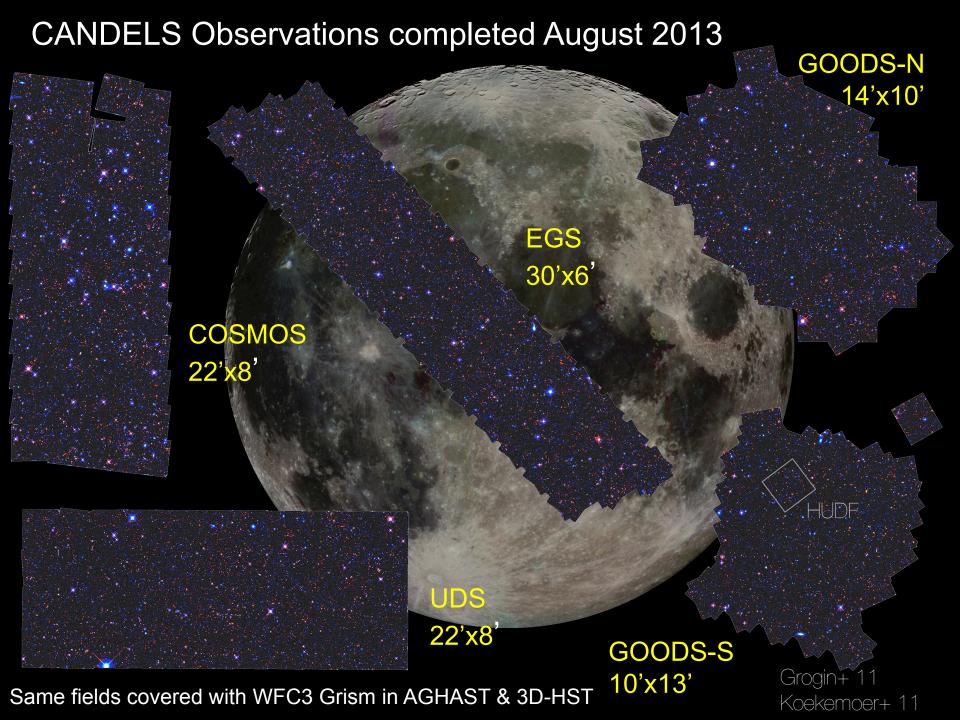
CANDELS Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey

CANDELS Team Meeting, May 2011 Royal Observatory, Edinburgh, Scotl

~175 team members

~45 institutions

12 countries



14 SNe at z>1.5

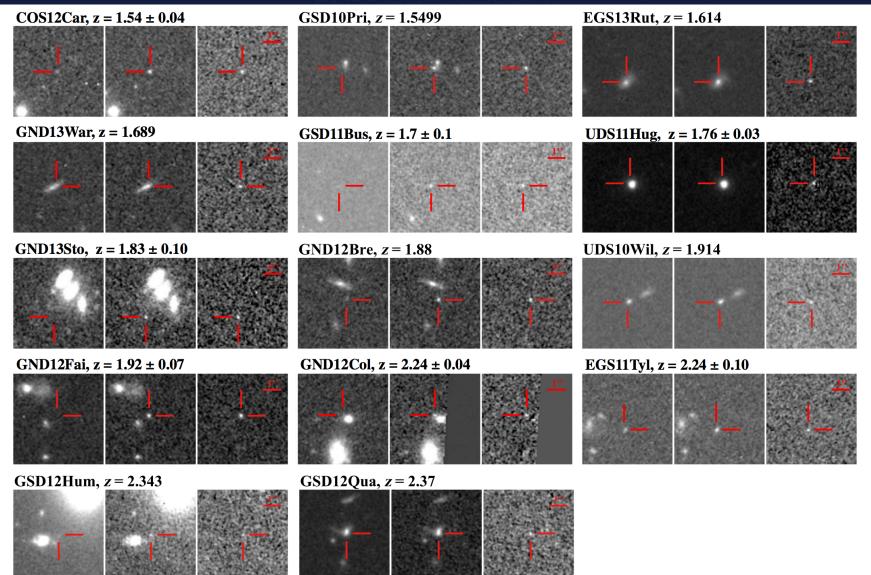
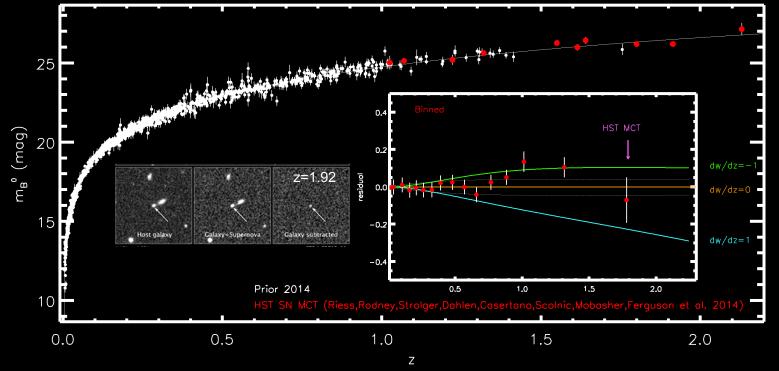


Figure 2. Detection images for 14 SN from the CANDELS fields with redshifts z > 1.5. Each image triplet shows *H* band (F160W) images with the template image on the left, the discovery epoch image in the middle, and the difference image on the right. All images have a width of about 6 arcsec, with north up and east to the left. The position of the SN is marked by (red) crosshairs in every frame. Discovery images for the other 51 SN with z < 1.5 are provided in Appendix B.

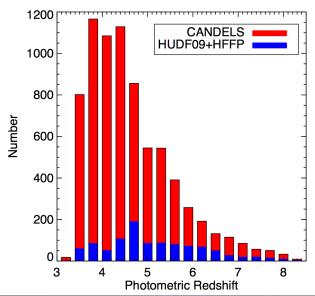
Building the Modern SN Ia Hubble Diagram; to the limit

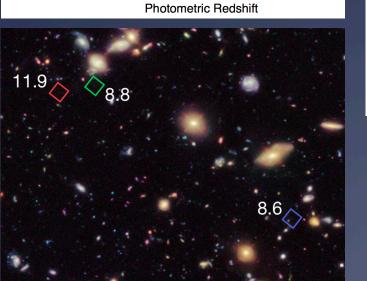
2014: HST SN MCT, searched CANDELS/CLASH w/ WFC3-IR, 1.5<z<2.1

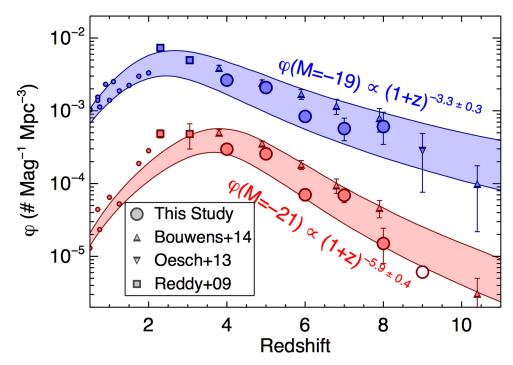


Established: SNe Ia to z=2.1, $dw/dz\sim0 +/-1$ still tracking model, but SN Ia at $z\sim2$ are rare \rightarrow long progenitor fuse

Early Universe

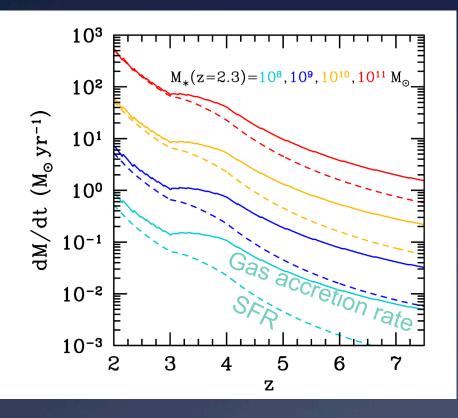






With reasonable extrapolations, galaxies can account for reionization

Star-formation efficiency

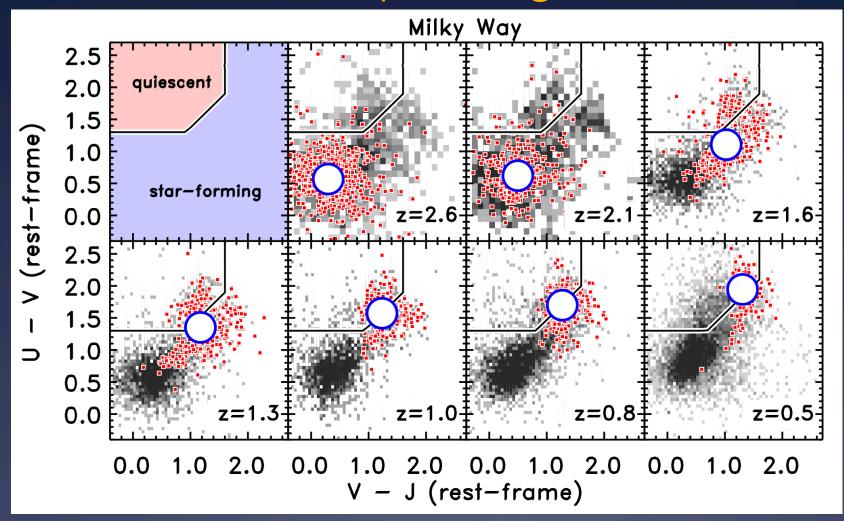


Reddy+12: declining starformation efficiencies at z>>4 inferred from star-formation histories at z<4

Increasing Stellar Baryon Fractions at z > 40.30 $d(SBF)/dz \propto (0.031 \pm 0.009)$ 0.25 Stellar Baryon Fraction 0.20 0.15 0.10 0.05 0.00 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 Redshift

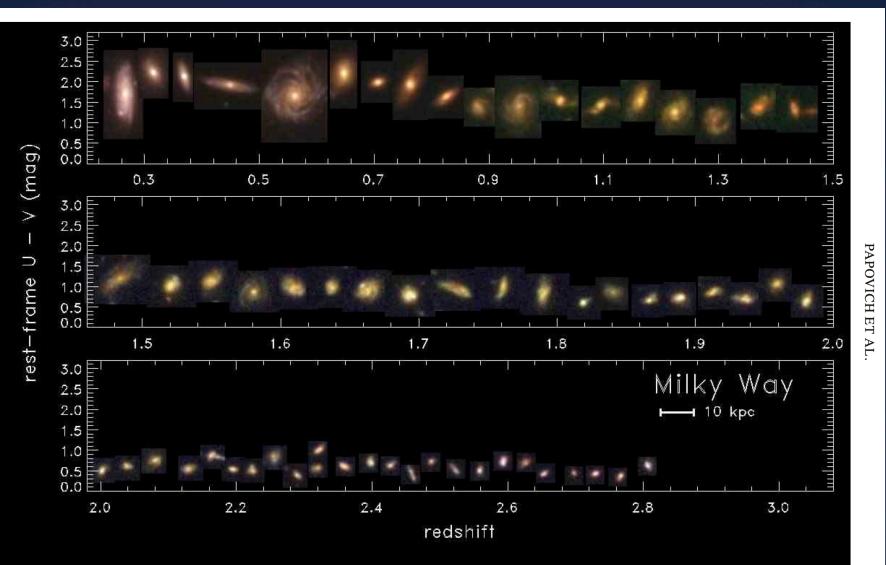
Finkelstein+15: increasing star-formation efficiencies at z>>4 inferred from luminosity functions and haloabundance matching.

What did the Milky Way look like 11 billion years ago?



Papovich+15 (CANDELS + ZFOURGE) Also Van Dokkum+ 13 3D-HST

What did the Milky Way look like 11 billion years ago?



Carefully-designed surveys serve multiple science goals

Supernovae Obtain a direct, explosion-model-independent measure of the evolution of Type Ia supernovae as distance indicators at z > 1.5, independent of dark energy. Supernovae Refine the only constraints we have on the time variation of the cosmic-equation of state parameter w, on a path to more than doubling the strength of this crucial test of a cosmological constant by the end of HST's life. Supernovae Provide the first measurement of the SN Ia rate at z ≈ 2 to distinguish between prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models. Cosmic Constrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content of galaxies at the end of the reionization era z ~ 6 − 10. Cosmic Improve the constraints on the bright end of the luminosity function at z ~ 7 and 8, and make z ~ 6 measurements robust using proper 2-color Lyman break selection. Cosmic Measure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models. Cosmic Greatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity Dawn at z = 4 − 8 by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry. Cosmic Identify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep Dawn		
SupernovaeRefine the only constraints we have on the time variation of the cosmic-equation of state parameter w, on a path to more than doubling the strength of this crucial test of a cosmological constant by the end of HST's life.SupernovaeProvide the first measurement of the SN Ia rate at $z \approx 2$ to distinguish between prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models.CosmicConstrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content of galaxies at the end of the reionization era $z \sim 6 - 10$.CosmicImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8, and make $z \sim 6$ measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity at $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Supernovae	Obtain a direct, explosion-model-independent measure of the evolution of Type Ia
state parameter w, on a path to more than doubling the strength of this crucial test of a cosmological constant by the end of HST's life. Supernovae Provide the first measurement of the SN Ia rate at z ≈ 2 to distinguish between prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models. Cosmic Constrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content of galaxies at the end of the reionization era z ~ 6 – 10. Cosmic Improve the constraints on the bright end of the luminosity function at z ~ 7 and 8, and make z ~ 6 measurements robust using proper 2-color Lyman break selection. Cosmic Measure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models. Cosmic Greatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity Dawn at z = 4 - 8 by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry. Cosmic Identify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep		supernovae as distance indicators at $z > 1.5$, independent of dark energy.
of a cosmological constant by the end of HST's life.SupernovaeProvide the first measurement of the SN Ia rate at z ≈ 2 to distinguish between prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models.CosmicConstrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content of galaxies at the end of the reionization era z ~ 6 - 10.CosmicImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at z ~ 7 and 8, and make z ~ 6 measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity Dawnat z = 4 - 8 by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Supernovae	•
SupernovaeProvide the first measurement of the SN Ia rate at $z \approx 2$ to distinguish between prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models.CosmicConstrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content of galaxies at the end of the reionization era $z \sim 6 - 10$.CosmicImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8, and make $z \sim 6$ measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint 		
prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models.CosmicConstrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust contentDawnof galaxies at the end of the reionization era $z \sim 6 - 10$.CosmicImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8,Dawnand make $z \sim 6$ measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faintDawnand angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicityDawnat $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep		of a cosmological constant by the end of HST's life.
Cosmic DawnConstrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content of galaxies at the end of the reionization era $z \sim 6 - 10$.Cosmic DawnImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8, and make $z \sim 6$ measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.Cosmic DawnMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.Cosmic DawnGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity at $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Supernovae	Provide the first measurement of the SN Ia rate at $z \approx 2$ to distinguish between
Dawnof galaxies at the end of the reionization era $z \sim 6 - 10$.CosmicImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8, and make $z \sim 6$ measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity DawnDawnat $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep		prompt and delayed SN Ia production and their corresponding progenitor models.
Cosmic DawnImprove the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8, and make $z \sim 6$ measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.Cosmic DawnMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.Cosmic DawnGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity at $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Cosmic	Constrain star-formation rates, ages, metallicities, stellar-masses, and dust content
Dawnand make z ~ 6 measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity DawnDawnat $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Dawn	of galaxies at the end of the reionization era $z \sim 6 - 10$.
CosmicMeasure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity at $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Cosmic	Improve the constraints on the bright end of the luminosity function at $z \sim 7$ and 8,
Dawnand angular scales sufficiently large to constrain reionization models.CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity at z = 4 - 8 by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Dawn	and make z ~ 6 measurements robust using proper 2-color Lyman break selection.
CosmicGreatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity at z = 4 - 8 by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Cosmic	Measure fluctuations in the near-IR background light, at sensitivities sufficiently faint
Dawnat z = 4 - 8 by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.CosmicIdentify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Dawn	and angular scales sufficiently large to constrain reionization models.
Cosmic Identify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep	Cosmic	Greatly improve the estimates of the evolution of stellar mass, dust and metallicity
	Dawn	at $z = 4 - 8$ by combining WFC3 data with very deep Spitzer IRAC photometry.
Dawn Chandra observations. Constrain fainter AGN contributions via X-ray stacking.	Cosmic	Identify very high-redshift AGN by cross-correlating optical dropouts with deep
	Dawn	Chandra observations. Constrain fainter AGN contributions via X-ray stacking.
Cosmic Use clustering statistics to estimate the dark-halo masses of high-redshift galaxies	Cosmic	Use clustering statistics to estimate the dark-halo masses of high-redshift galaxies
Dawn with triple the area and double the maximum lag of prior HST surveys.	Dawn	with triple the area and double the maximum lag of prior HST surveys.

Carefully-designed surveys serve multiple science goals

Cosmic Noon	Improve by an order of magnitude the census of passively-evolving galaxies at 1.5 $< z < 4$. Measure mass functions and size distributions in the rest-frame optical, measure the trend in clustering with luminosity, and quantify evolution with redshift.
Cosmic Noon	Use rest-frame optical observations at $1 < z < 3$ to provide solid estimates of bulge and disk growth, and the evolution spiral arms, bars, and disk instabilities.
Cosmic Noon	Test models for the co-evolution of black holes and bulges via the most detailed HST census of interacting pairs, mergers, AGN, and bulges, aided by the most complete and unbiased census of AGN from Herschel, improved Chandra observations, and optical variability.
Cosmic Noon	Detect individual galaxy subclumps and measure their stellar mass, constraining the timescale for their dynamical-friction migration to the center leading to bulge formation.
Cosmic Noon	Measure the effective radius and Sersic index in the rest-frame optical of passive galaxies up to $z \sim 2$ and beyond and combine with ACS data to quantify envelope growth and UV-optical color (age) gradients.
Cosmic Noon	Determine the rest-frame optical structure of AGN hosts at $z \sim 2$.
Cosmic Noon	Identify Compton-thick, optically obscured AGN at <i>z</i> ~ 2 and determine their structure.
UV	Constrain the Lyman-continuum escape-fraction for galaxies at $z \sim 2.5$.
UV	Identify Lyman-break galaxies at $z \sim 2.5$ and compare their properties to higher-z LBG samples.
UV	Estimate the star-formation rate in dwarf galaxies to $z > 1$ to test whether dwarf galaxies are "turning on" as the UV background declines at low redshift.

Ground-based component

- Deep near-IR imaging
- Wider, shallower fields (e.g. for clustering)
- Redshifts
- Metallicities
- Ly-alpha evolution
- Kinematics
- AO morphologies

JWST NIRSpec territory

TMT territory

Thoughts on large surveys

- Statistical studies are severely hampered without large surveys
- Takes a lot of effort to optimize for multiple science goals
 - Science team & observatory staff
 - Observation phasing, Parallels, slit mask optimization, data-reduction pipelines
- It is worth the effort
 - Ends up saving telescope time relative to uncoordinated smaller GO programs to accomplish the same goals.

Thoughts on large surveys

- ~25% of the time for proposals ~10x larger than average seems like a good balance.
 - Does not have to be "surveys"
 - But "surveys" with broad uses tend to yield more publications than narrower programs
 - Complaints that "large programs crowd out small ones" are generally off base
 - If anything, they probably reduce overall proposal pressure, because they often yield public data with multiple uses.

Thoughts on large teams

- Can stimulate better science
 Multiple techniques, cross-comparisons
- Can be good for young scientists
 More contacts, interaction
- Can be inefficient
 - More coordination, some redundancy, more time to review papers
- Much depends on the team itself

Thoughts on proprietary data

Dead Sea Scrolls

וייתוא שיין יבו אויני בינילם אייי עולם והבוחנות מברצים אונצא אנשוורל אל החולוים תבום כבול הרבוי ואומרום וכיצבה כבול שרכ השפרידה שא רע הארובה כשול אחם ההנצה באנת עלטון ורשא בור אשייאליה לשלום שולפים והליוום מקולום אתצא אביאר אבין בלבין אנר ראמריך אייד איזד נציו בעיקררטע אטמתרה ימניה אל ועוד בין של נוקנה ניום והבווי אארוידה בלהפרה בולמשלבי אבילום אחר אוד ליין יאשים בארשון מעטרבה חונום אתה כאבלה אי עולים לא האונבה אל בקיראבה ווא וכלא לכברימונך אייא כנר אפי לעושתבה ולהא והדוהלבה יולום כפרבה אראור אבהל דבר אעושיום שיאת אישיאת אוני אפגיצו והשקנות אבן אבן החומופו הברורנות יחלוות נאבר אחר בשלור לנו לעכוף

אבאברית אות ומנשול עונג וטום לבור לאשנא בו ואוא בשופינה אתשבינה הביות הותותנכיף כלכבר לאברי שלום ההבלה ניא בשאחת לם יול הרבעה הינה דעבאה עו איוה אוויה שלאאד אבאל רינטית משכשיו ובעריך כילבלת עולפיון ואיבער כריון שות הכיות הות הביולור שלביצה ונדת מוצצול כנו אור בוומונו מאאראאן בעלות ובבעון עוע און וורע בער ארורי עולניון ובת כאר הכרות וענו ואכאי אאריוחה אמן איכן

דבה אישי שעו כשור אל אתרו אבשילה צלועל ודניוהנא אכורו כי עונה כביך לטירווערם וה אור וה חלווים ועבוין אוריוהם הבול הינם שבכורו בט לישות בערך וד אואי וה לאלבום ובשית ואם שופרט שריה ליצא אם עשו שראל ערט בית בעבויר כותור אל אנינת ערופות הוא הטבל איש מבוח ב עבויר היה וריום מפקום אוילו דיא העול אחור ניחר אנת וענה פוב אורעת אנץ ונאושנת יאיץ שישלא הד בעינת קריים ובנו מרף שולמת ובל המואם לבוא אלבת באורדיה לבו לאי יאר אכתו בוא געלד

20 5

נבשר ברפורר דינת משבטר צייק טא אוק משוב זהי הים ישריה מא אואשב חיטורוסופ והונו לא יבואו בגעו ועף ביא כשואו) רטע צאר או האוו כשוכתו ולוא יוציק כבתור שרורות לכו ואושב וכוא לדרבר אור בער) תפיטות לוא הטושב לא הוצה בצבורים אחת ופורר כמי ניוד נלוא תקויש בופות ונודרות וחיא וסודר כבת בררוע שמא שבא יהוה ציו חובו מראכו במשכנה אל וכאני התותר באוי עצור ציא כיוא עינת אפת אי איציר איט וציכירציו טוונות להכום באור האויום וברות קאישה לואי באכתו וסוקי פצול טהטונר ושיוא אישי וענוד וגעובר אטות ובאנות נבשו לציו אוקר אל וטאקי בטרי וחות כנו ניה אחתקיט כנו איצו ווהצין שבטן שהיצת הציון בצול איצו אל צאשוי עוד לניצוי תעראמוי ארא לכירי ומון רשושאול ואון לנעוף על אורף מצול אביוו אן היצא בצמרה נאווא לבו אל החוטולו לאיול

איי ערפרט למשניל להכון ולפני אוניל בנר אור כתולדיות צולכנו אביו לציל שע היוורתו באותותם לעשווהם באיויותם המקורית נאשוותו עם קש שלופם מאל הויצות צל המוה ונהיוה אפור הייתום הבין צל מהשבתבי ישודותם שבנוקרתם צבורטיבת צשויף וכליאו בנולתם האף להשנות כויףר משפרצול וההאה וצלצום צבל הבעותו יהואה ביא אנוש לפגשלה אכל אישם לי שתו ריואות להתהלציבם עץ מועץ בקווידור הנה איואות היאנת והיצול בבצון אתי תולויות האצת הנוקור אושר תוליות העול בוד שר אורים נמשלת צול ברצים בדרצי ארד מוחלצו וברי מלאי אושר בת בעשלת בנרטה וקריצר זוושני תותצו ובתלאי ווושף תעות טל בע עיש וצול אטאתנו ועתנרום ואטומוש ומשעו בעישרות בפנושר לניקור אל עדיקער וצא נגיעותם ומיעיר ערותם כממשלת משמכתו ונילרותר גורלו יודצטול בנראיך ראל בטריא ומלאצ אמתר עור לבול כנה ארר והדואה כיא רוונות איף ומישוי ועלואין ושיינול פעשוי אן צה עבודה ועל היציהן איישה אתת אחב אל פייל

שים פולפוט ובצול פולותניוד היצוד לען אות נהב מנויור וצול ואיציוד שנו האלה ואיציואן שתבל להיאירי שלצב אינט ההיטף לבנור צה איני צויין או א מירא עוד ואיצ אנית היבריאנים ואוב עולאם ושבל ובאוד ואובים מעשה אל ונשעות פרוב אבויר היא ועת בצה מאשבת לעשה ואנאת קוואש ביצר נעוצ ורוב אניאים עלבת בנה אעת ולוחית צבוץ מתעב בת בערצת צול נאבא לאצת אור אור עריר אור לבנו אלת תכל ובאר וריוב שלום באריב וניים וברות ורע שובה ברצות עו רשנאת שלבום ו עם מאית הואי בארי עולפוע

and the second second second

וליוא ענלא ויאוב נבט וטבול ויאום בעבואת אוי השע ושקר אות ויות היוב אוב עינה אנום היוב ארות וקנאת ואי מצשר תרצבה ביוא ונת הא ולטוף גשוטות שדיף עונות ובטיף און יויטו עוריב וצובוף לב לבת בצול אינ צול היילצרבה ליוב נגרעון בוויצול משני אכל לשאת עולבון באב עברת אל עי פתבלבת צלה באש צאשצום וצול קצוהה לאורותם באבל או היעת ביו צמום שין שיית וכניטה לכו

בהלחינוליות צול כנר איש וכמבלגיהן ינאלר צול עבאיתע להרומע וכאיר מעשרודם במכל ארוה לבר נאלת איש בין ריב למרעם לצול קינר אולמים צוא א אותיון ניתן אובת עולם שן צבליות? תעשת אצת שלחות עבלה נהועבת עולה איב עלצא משבמהן ציאלוא מוף תואנו זאל ביוו שצו יבאנמת בבראי נה כקודור הטוצרינוד לעי ואו תיא לניא אמת מכל צוא ותואולוה כדרצו דשע פועף מיכם נוריעד ואורביף או כאמו ית בעשר אבי ווקק לרכנו איש ההנם בשיה ולשחיד שיוור קויףט מבהל טלולות בשעה או טלור רוא אצוו צפה נאה רצי במיא באוד להכין ושאינן באשו שליו) ואבכת בער שבות להשצול תפופו איצ צי ולהם צל צפור אינם ראון אלה וחוה לפועם הלפגטר רפוה עו הוה וריום ורוע התהלצו באצמה ואולה וצמי נאלה איש פי זה רופין וצי רשטר פרלה וצירישור בי תנצב אמת ציא בא פבא שני אל טאשים נאריצה ופשית אישה והדאה יאי ש יווטאלא יענייגע לאחו טוני

Thoughts on non-proprietary data

Science enabling

 Multiple telescopes & teams invest in common fields because core data are public.

Speeds the intellectual cycle

- Faster publication
- Multiple perspectives on hot topics
- Fosters collaboration on followup observations

Thoughts on non-proprietary data

- Not a serious problem for the PI team
 - PI team's accomplishments are not greatly diminished by someone else addressing similar scientific goals with the same data
 - Public data in some sense frees you to "do the right thing"
- Extra "protection" for students from proprietary data is a bit of a myth
 - There are generally other facilities and other ways to compete for the same science goals

Thoughts on time allocation

- Possible ways to optimize while preserving "shares" and guaranteed time:
 - One TAC with global rankings; partner shares achieved by going further down the list (while avoiding duplication)
 - Guaranteed time for instrument teams, but priority on targets determined by proposal ranking (Spitzer, later cycles?)
 - Shares allocated proportionally according to proposal team affiliations (PI counts 2x?)

Thoughts on time allocation

- Alternative (experiment):
 - Separate partner TACs for 50%
 - Unrestricted TAC for the other 50%
 - More incentive for NSF to join in this model
- Incentivize making data public
 - Calibration time "free"?
 - Priority in queues?
 - Priority for completion
 - Funding for value-added data products
 - Checkbox on NSF grant applications



 Large, public surveys enhance certain kinds of science

Consider ways to enable this